



# Représentation du voisinage physique dans les interactions de proximité

Arnaud Troël, Frédéric Weis, Michel Banâtre

## ► To cite this version:

Arnaud Troël, Frédéric Weis, Michel Banâtre. Représentation du voisinage physique dans les interactions de proximité. [Rapport de recherche] RR-4939, INRIA. 2003. inria-00071640

**HAL Id: inria-00071640**

**<https://inria.hal.science/inria-00071640>**

Submitted on 23 May 2006

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

# *Représentation du voisinage physique dans les interactions de proximité*

Arnaud Troël, Frédéric Weis, Michel Banâtre

**N°4939**

Septembre 2003

\_\_\_\_\_ THÈME 1 \_\_\_\_\_

A large blue rectangle occupies the lower half of the page. Overlaid on it is a large, light gray stylized 'R' logo. To the right of the 'R', the words 'Rapport de recherche' are written in a white serif font. A horizontal gray brushstroke underline is positioned below the text.

*Rapport  
de recherche*





## **Représentation du voisinage physique dans les interactions de proximité**

Arnaud Troël, Frédéric Weis, Michel Banâtre \*

Thème 1 — Réseaux et systèmes  
Projet ACES

Rapport de recherche n°4939 — Septembre 2003 — 27 pages

**Résumé :** Dans le domaine des communications sans fil entre calculateurs mobiles, la détection et la représentation de l'ensemble des terminaux se trouvant à portée de communication d'un terminal donné repose traditionnellement sur l'émission régulière de messages de présence. Ces terminaux sont généralement considérés identiques, tant du point de vue de leur portée de communication que de leur mobilité. Dans ce document, nous montrons que ces hypothèses sont mal adaptées au fonctionnement d'applications pourtant simples. Nous proposons, dès lors, une nouvelle définition des relations de voisinage entre des terminaux dont la mobilité et la portée de communication diffèrent. Nous mettons enfin en place un service système permettant une nouvelle représentation du voisinage physique.

**Mots-clé :** communications sans fil, mobilité, interactions de proximité

*(Abstract: pto)*

\* {Arnaud.Troel, Frederic.Weis, Michel.Banatre} @irisa.fr

# **Scanning and Representing Neighborhood Relationships in Proximate Interactions**

**Abstract:** In the field of mobile computing, the detection and the representation of the nodes in the range of communication of another node is traditionally based on presence messages. These nodes are generally supposed to have the same mobility profile and the same range of communication. In this document, we show that these assumptions are however unsuitable to some simple applications. We also propose a new definition of the neighborhood relationship between nodes having different mobility schemes and different ranges of communication. We eventually design a system service allowing a new representation of the neighborhood.

**Key-words:** mobile computing, proximate interactions

## **Table des matières**

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Contexte de l'étude</b>	<b>5</b>
2.1	Réseaux sans fil et terminaux mobiles . . . . .	5
2.1.1	Les réseaux cellulaires . . . . .	5
2.1.2	Les réseaux ad hoc . . . . .	7
2.1.3	Les réseaux personnels . . . . .	8
2.1.4	Synthèse . . . . .	10
2.2	Représentation du voisinage des terminaux mobiles . . . . .	10
2.2.1	Modélisation des terminaux . . . . .	12
2.2.2	Implantation système du service . . . . .	13
2.2.3	Limites de l'approche . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Proposition</b>	<b>16</b>
3.1	Objectif, hypothèses et conséquences . . . . .	17
3.2	Nouvelles relations de voisinage . . . . .	18
3.2.1	Définition des relations de voisinage . . . . .	18
3.2.2	Mécanismes des relations de voisinage . . . . .	18
3.2.3	Protocole de découverte . . . . .	20
3.3	Implantation système . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>24</b>

## 1 Introduction

La récente prolifération de terminaux portables, tels que les téléphones cellulaires ou les assistants personnels communicants permet d'envisager la conception d'une nouvelle classe d'applications. L'originalité de ces dernières réside essentiellement dans l'exploitation active des deux caractéristiques remarquables qui font la singularité de ces terminaux. De part leur faible encombrement et grâce à leur autonomie énergétique, ils sont en effet aisément transportables par des véhicules ou des individus. De plus, la faculté de communication à courte distance dont ils disposent laisse présager la possibilité de nouveaux échanges, dans lesquels la proximité physique des protagonistes joue un rôle prépondérant [1]. C'est ce type d'échanges entre entités informatiques mobiles et communicantes que nous nommons *interactions de proximité*. La dissémination de ces terminaux doit, à terme, donner naissance à une informatique *diffuse*, c'est-à-dire, partout présente et dont les principes ont pour la première fois été évoqués par Mark Weiser [14]. Elle doit permettre le déploiement de services dont la nature dépend de l'environnement des utilisateurs, encore appelé *contexte*.

Considérons, par exemple, un supermarché au sein duquel le prix des articles est publié via des communications sans fil à courte portée. Un utilisateur, au fur et à mesure de sa progression dans les rayons, peut ainsi consulter l'ensemble des prix des articles qu'il cherche à acheter et qui sont situés dans son proche voisinage. La publication globale de tous les prix du magasin n'apporte ici aucun avantage puisqu'ils ne sont pas tous à portée de main. Au contraire, elle induit une dégradation du service puisque, tant qu'un client est situé au rayon des biscuits apéritifs, il ne se soucie guère du prix des fruits et légumes. Une publication globale ciblée sur quelques produits dans le but d'attirer les consommateurs dans un rayon précis reste cependant envisageable. L'intérêt du système réside dans le fait que la proximité physique agit comme un filtre naturel permettant la présentation des articles pertinents, c'est-à-dire, immédiatement accessibles.

La mise en place de telles applications nécessite, au préalable, que chaque terminal puisse, à tout moment, connaître l'ensemble des entités informatiques qui l'entourent. Il est donc nécessaire que chaque terminal soit capable d'établir et de maintenir une représentation de son voisinage informatique, en dépit de sa portée limitée de communication, de ses propres déplacements, mais aussi de ceux des autres terminaux. Ce document dresse, tout d'abord, un panorama des principaux

réseaux sans fil utilisés. Nous présentons ensuite l'approche généralement suivie dans le cas où les entités communicantes ont la même portée de communication. Nous proposons enfin une nouvelle approche permettant la prise en compte de portées de communication spécifiques à chaque nœud.

## 2 Contexte de l'étude

Nous exposons à présent plus précisément le contexte dans lequel cette étude s'inscrit. Dans un premier temps, nous évoquons brièvement les principaux réseaux actuellement disponibles mettant en œuvre des échanges entre terminaux mobiles. Nous précisons ensuite la problématique qui motive cette étude. Nous exposons alors l'approche traditionnellement adoptée en détaillant la modélisation sous-jacente et son implantation système. Nous concluons sur ses limites.

### 2.1 Réseaux sans fil et terminaux mobiles

Les terminaux mobiles et communicants effectuent des échanges d'informations au sein de réseaux sans fil. Selon leurs principales caractéristiques, ces réseaux sont traditionnellement classés en trois groupes que sont les *réseaux cellulaires*, dans lesquels les terminaux échangent des informations par le biais d'une infrastructure fixe, les *réseaux ad hoc*, où ces échanges sont réalisés grâce à un mécanisme de routage dynamique malgré l'absence d'infrastructure dédiée et enfin, les *réseaux personnels*, dans lesquels les données transitent entre terminaux immédiatement voisins.

#### 2.1.1 Les réseaux cellulaires

Un réseau cellulaire est un système de communication sans fil dans lequel les terminaux, appelés aussi *stations mobiles*, communiquent entre eux par le biais d'une infrastructure fixe dédiée. Cet accès au réseau par le terminal s'effectue au moyen de bornes, ou *stations de base*, disséminées dans le territoire couvert par le réseau. Ceci est illustré sur la figure 1.

En fonction de sa puissance d'émission, chaque borne couvre une zone géographique nommée *cellule*. Lorsqu'un usager se déplace, la qualité du lien radio entre la station mobile et la station de base à laquelle elle se réfère pour accéder au réseau



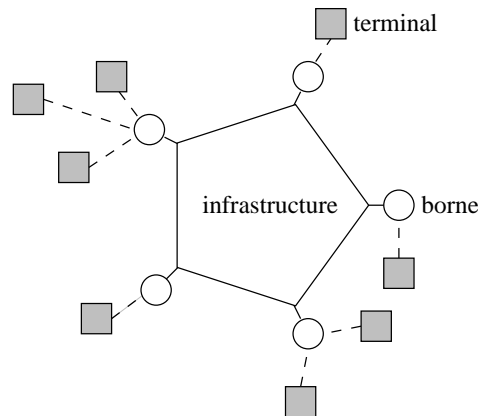


FIG. 1 – Exemple de réseau cellulaire

peut se dégrader jusqu'à le rendre inutilisable. Un changement de station de base de référence doit alors être réalisé. Ce processus de passage d'une station de base à une autre est nommé *transfert intercellulaire*, ou encore *hand-over*.

Pour détecter la meilleure station de base disponible, une évaluation de la qualité du lien entre le terminal et les stations de base à sa portée est réalisée régulièrement. Elle repose généralement sur la mesure de la puissance des messages reçus. L'heuristique utilisée reste dépendante de la mise en œuvre du réseau considéré. Lorsqu'une station candidate est trouvée, la station mobile demande au réseau de commander le transfert. Ce transfert intercellulaire peut accessoirement être déclenché exclusivement par le réseau, dans un objectif d'équilibrage de charge, par exemple.

Le domaine d'application le plus connu aujourd'hui est certainement celui de la téléphonie sans fil dont GSM [10] et GPRS [8] sont les normes en Europe. Des projets relevant du domaine de l'informatique diffuse les ont aussi exploité. Nous citons les projets pionniers que sont Parctab [13] de Rank Xerox et Active Badge [12] d'Olivetti. Dans ces études, les utilisateurs sont reliés au système central par le biais de terminaux infrarouges communiquant avec des bornes d'accès dissimulées au sein d'un immeuble. Active Badge propose un service de localisation tandis que Parctab offre un accès distribué et transparent aux ressources informatiques disponibles dans le bâtiment.

Seule la détection des stations de base voisines de la station mobile est traditionnellement effectuée. La détection des autres terminaux n'est pas réalisée, car c'est au réseau qu'il incombe de trouver le correspondant recherché, quand bien même il se trouverait à proximité de l'initiateur de la communication. Dans ce type de réseau, le voisinage d'un terminal consiste en l'ensemble des stations de base à sa portée. Les réseaux cellulaires ne considèrent traditionnellement pas la possibilité pour deux terminaux de communiquer directement, c'est-à-dire en court-circuitant l'infrastructure fixe. Ce type de communication est principalement traité dans les réseaux ad hoc ou personnels que nous allons présenter dans le paragraphe suivant.

### 2.1.2 Les réseaux ad hoc

Par opposition aux réseaux cellulaires, les réseaux ad hoc sont dépourvus d'infrastructure fixe chargée de l'interconnexion des terminaux. Lorsque la population des terminaux devient suffisamment dense, des échanges deviennent toutefois possibles. Pour cela, chaque terminal joue le rôle de routeur à part entière et relaye de proche en proche les messages à transmettre.

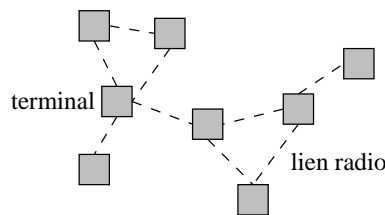


FIG. 2 – Exemple de réseau ad hoc

Il existe deux approches principales à la conception des protocoles ad hoc. L'approche *proactive*, d'une part, calcule de manière continue les routes disponibles au sein du réseau. L'approche *réactive* ou *à la demande*, d'autre part, calcule les routes uniquement lorsqu'elles sont nécessaires. Une taxonomie plus complète a été proposée par Feeney dans [5].

Lorsque les réseaux ad hoc sont considérés, aucune technologie permettant la communication entre nœuds mobiles n'est *a priori* désignée. Il est cependant indéniable que ce sont les réseaux locaux sans fil, ou WLAN, qui apparaissent comme la technologie la plus commune. En effet, les prototypes sont, pour la plupart, réalisés avec IEEE 802.11b [4] en mode point-à-point (ou mode *ad hoc* par opposition

au mode *infrastructure* fonctionnant de manière cellulaire). Le développement des protocoles ad hoc au dessus de Bluetooth [7] est cependant un thème actuellement très actif au sein de la communauté scientifique.

Les cartes de communication IEEE 802.11b permettent la communication entre deux terminaux éloignés d'environ 250 mètres en extérieur. C'est une technologie qui repose sur les ondes radioélectriques et dont la gestion de l'accès au médium est très semblable à Ethernet : chaque carte dispose en effet d'un identifiant unique lui permettant de savoir, lors de la réception d'une trame réseau, si elle lui est destinée ou non. En mode ad hoc, cette technologie n'inclut cependant pas de mécanisme actif permettant la découverte des terminaux accessibles directement. Cela doit donc être réalisé au niveau logiciel.

Même si elle n'est pas indispensable, la détection du voisinage physique des terminaux s'avère toutefois intéressante lorsqu'elle intervient dans le processus de routage. Elle permet d'améliorer les performances du protocole de communication. Les protocoles LAR [9] (pour *Location Aided Routing*) et DREAM [2] (pour *Distance Routing Effect Algorithm for Mobility*) proposent notamment de s'appuyer sur la connaissance du mouvement des terminaux pour réduire la zone de recherche des routes. Une autre approche proposée par Su [11] consiste par ailleurs à estimer la durée de vie des liens entre les routeurs pour anticiper les ruptures de routes.

### 2.1.3 Les réseaux personnels

Les réseaux présentés précédemment permettent l'interconnexion des terminaux mobiles au sein d'une zone commune. En implantant leur infrastructure, les réseaux cellulaires définissent une zone de couverture au sein de laquelle les terminaux peuvent échanger des informations. De manière plus locale, les terminaux formant un réseau ad hoc définissent une zone dynamique dans laquelle les informations circulent. Cette notion de zone de communication peut être réduite jusqu'à ne considérer que les échanges du point de vue d'un terminal. Ce réseau centré autour du terminal est ce que l'on nomme un réseau personnel.

Dans ces réseaux, une simple communication en étoile, dans laquelle un terminal particulier communique avec ses voisins, est généralement envisagée. Ces réseaux sont très présents dans les systèmes centrés sur les interactions entre l'utilisateur et des terminaux tels que des imprimantes, des microphones, etc... À titre d'exemple, une personne équipée d'un ordinateur portable, d'un téléphone cel-

lulaire ainsi que d'un micro-casque peut se connecter sur Internet ou téléphoner sans brancher aucun fil. Il peut aussi, dans une salle de réunion, accéder au vidéo-projecteur ou à l'imprimante, sans connexion physique.

Ce type de connectivité a été rendue possible avec l'apparition de technologies de communication sans fil à moyenne portée, telle que IEEE 802.11b, ou à courte portée, telle que Bluetooth. Bluetooth [7] trouve d'ailleurs naturellement sa place au sein de ces réseaux. C'est en effet, une technologie qui a été développée dans le but précis de servir ce type de réseau et permet la mise en œuvre de communications sans fil de courte portée. Un terminal équipé peut ainsi transmettre des informations dans une zone géographique d'une dizaine de mètres de rayon.

La communication entre terminaux Bluetooth n'est pas symétrique comme c'était le cas avec les technologies de réseaux locaux. Elle repose en effet sur la notion de *maître* et d'*esclave*. Ainsi, un terminal maître peut communiquer avec sept terminaux esclaves au plus. L'ensemble de ces terminaux forment un *piconet*. Un esclave peut toutefois être maître d'un autre piconet. Les deux piconets sont alors interconnectés et forment un *scatternet*, comme illustré sur la figure 3.

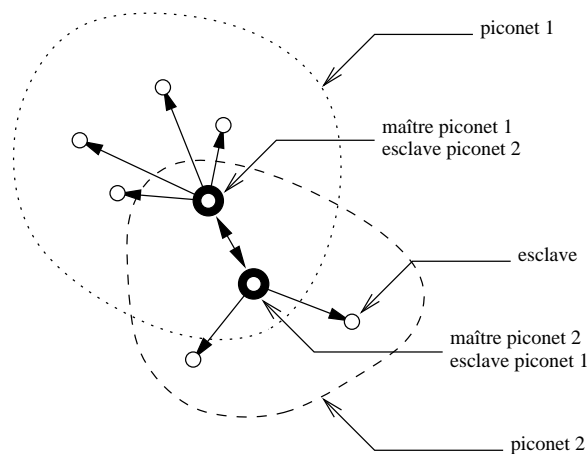


FIG. 3 – Exemple de scatternet Bluetooth

### 2.1.4 Synthèse

Le mode de fonctionnement de trois classes générales de réseaux sans fil que sont les réseaux cellulaires, les réseaux ad hoc et les réseaux personnels, conditionne fortement la nature des applications exécutées sur les terminaux.

Les réseaux cellulaires privilégient une communication globale couplée à une forte connectivité. Ils proposent aux applications une couche d'adaptation permettant un accès global au réseau, tout en masquant les impacts qu'occasionne la mobilité des utilisateurs. Des applications classiques peuvent ainsi être exécutées quand bien même elles n'auraient pas été conçues pour fonctionner spécifiquement sur ce type de réseau.

Les réseaux ad hoc proposent une connectivité moins forte que les réseaux précédents. La zone géographique couverte par ce type de réseau est, d'une part, plus réduite et, d'autre part, évolue en fonction des mouvements des terminaux. Ces réseaux tentent aussi de proposer un mécanisme de routage visant à abstraire les applications des contraintes liées à la mobilité physique des nœuds afin que des applications classiques puissent, elles aussi, fonctionner. Le contexte plus local des communications conditionne cependant la nature des applications et c'est très souvent dans les domaines militaire et des secours qu'on les envisage.

Les réseaux personnels proposent quant à eux une connectivité exclusivement locale permettant généralement de régler des problèmes de câblage, tout en permettant à des terminaux informatiques de communiquer. Les applications envisagées sont généralement centrées autour de l'utilisateur pour lui permettre d'accéder facilement aux appareils qui l'entourent.

## 2.2 Représentation du voisinage des terminaux mobiles

Comme nous venons de le constater, les réseaux sans fil doivent permettre aux terminaux de communiquer soit avec une borne d'accès à un réseau cellulaire, soit directement avec d'autres terminaux. Plus généralement, lorsque des interactions de proximité sont envisagées, se pose, pour un terminal donné, le problème de la détection et de la représentation informatique des terminaux directement accessibles. Il s'agit pour le terminal étudié d'élaborer une représentation informatique de son voisinage immédiat, dont la composition varie en fonction des mouvements propres des nœuds. Les problèmes soulevés par la construction et le maintien d'une repré-

sensation informatique s'expriment en terme de *réactivité* et de *cohérence* du monde informatique vis-à-vis du monde réel. En d'autres termes, il est nécessaire d'établir rapidement et de mettre régulièrement à jour une représentation des entités proches avec lesquelles un terminal peut interagir.

Le problème de la représentation informatique du voisinage est rarement l'objectif premier des études. Celles qui relèvent du domaine des réseaux ad hoc traitent principalement du problème de l'algorithme de routage dynamique. Le voisinage immédiat des routeurs n'apparaît généralement que comme un problème connexe. Cela se justifie pleinement, dans la mesure où ces études supposent implicitement que chaque nœud du réseau sait quels en sont les autres protagonistes. Le problème est alors de pouvoir les atteindre : l'identité des routeurs intermédiaires importe peu.

Les systèmes reposant sur des réseaux personnels sont, quant à eux, plus soucieux de permettre à un terminal de connaître son environnement direct. Toutefois, ces systèmes n'envisagent très souvent qu'une mobilité transitoire des terminaux : ce peuvent être l'entrée d'un utilisateur dans une salle d'impression impliquant la découverte des imprimantes disponibles ou encore, la détection et l'utilisation d'un périphérique de visualisation, tel qu'un vidéo-projecteur dans une salle de réunion.

C'est probablement dans le domaine de l'ubiquité numérique que les travaux s'avèrent plus enclins à envisager la représentation du voisinage physique. Plus précisément, ce sont les études mettant en œuvre des communications, le plus souvent spontanées, entre terminaux mobiles qui considèrent ce problème de plus près. Nous présentons ci-après deux études, Spread et Persend, nécessitant une représentation du voisinage physique pour fonctionner.

**Spread** Spread [3] est un projet dont l'objectif est de permettre la gestion d'un système d'informations reposant sur l'espace physique. Chaque entité prend part au système d'informations grâce à une interface de communication sans fil. En se déplaçant, une entité perçoit les informations d'autres nœuds. Le fonctionnement de ce système repose sur un système de tuples similaire à celui proposé par Linda [6].

Dans le cadre de cette étude, un prototype, nommé Ubibus, permet aux malvoyants de prendre le bus sans avoir, notamment, à en déchiffrer le numéro. Grâce à un terminal informatique communicant et une interface vocale, l'utilisateur peut demander l'arrêt de son bus et est prévenu de son approche imminente.

La connaissance au niveau informatique de l'ensemble des bus et des usagers présents dans le voisinage de l'abri-bus est nécessaire au fonctionnement de l'application.

**Persend** Persend [?] propose la mise en place de requêtes continues sur des bases de données relationnelles partagées par des nœuds mobiles communicants. Dans cette étude, chaque terminal dispose d'une base de données dont il autorise l'accès aux terminaux voisins. Les requêtes portant sur ces bases peuvent être *continues*, c'est-à-dire que leur résultat évolue dans le temps en fonction du contenu même de chaque base, mais aussi en fonction de la composition du voisinage.

Supposons, par exemple, que deux terminaux A et B publiant une table contenant le titre et le prix des albums musicaux qu'ils vendent. Supposons de plus que A cherche l'ensemble des albums disponibles dans son voisinage dont le prix ne dépasse pas dix euros. Le résultat de cette recherche peut évoluer si B modifie un de ses prix ou vend un album, mais aussi si B quitte le voisinage de A.

Il est, là encore, nécessaire à chaque terminal de disposer d'une représentation de son voisinage afin de détecter les apparitions et les disparitions des autres nœuds et de leurs données.

### 2.2.1 Modélisation des terminaux

Les terminaux mobiles sont souvent considérés comme des entités identiques du point de vue des communications. Cela se justifie dans la mesure où les nœuds considérés reposent sur la même technologie de communication sans fil. Il est nécessaire de modéliser la zone de communication des terminaux afin de permettre la conception d'outils système permettant de représenter, au niveau informatique, les différentes relations de voisinage existantes. Les zones de communication sont, dans la réalité, très difficiles à mettre en équation, tant elles dépendent non seulement de la technologie de communication sans fil employée, mais aussi des impacts imprévisibles de l'environnement dont les phénomènes dits de chemins multiples ou de *shadowing* sont les plus notables. Le premier se produit principalement à l'intérieur des bâtiments. Les murs réfléchissent les ondes radioélectriques et une même onde peut être reçue plusieurs fois à des puissances différentes selon le chemin qu'elle a parcouru. Le phénomène de *shadowing* a lieu lorsque la ligne de vue entre l'émetteur et le récepteur est interrompue. Les ondes radioélectriques ne

parviennent alors plus au récepteur de manière directe et leur amplitude se trouve atténuée voire annulée.

Le matériel prend en compte et tente de compenser ces phénomènes. Toutefois, la frontière de zone de communication reste imprévisible. Ainsi, une approximation commune de cette zone de communication est une sphère centrée sur un terminal, dont le rayon mesure la portée de communication observée dans un environnement faiblement perturbé tel qu'un champ ou un stade. Cela est illustré sur la figure 4.

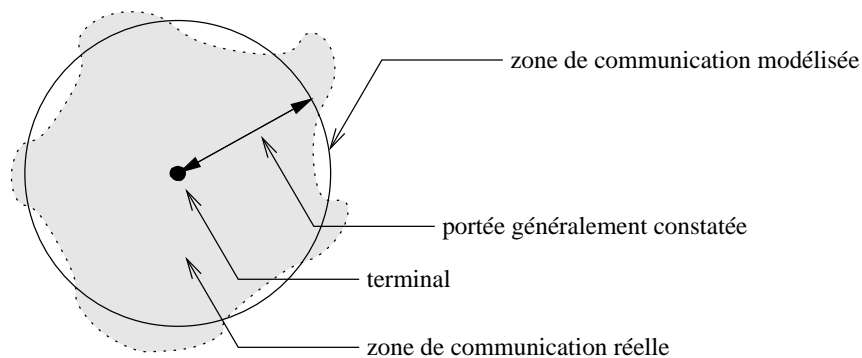


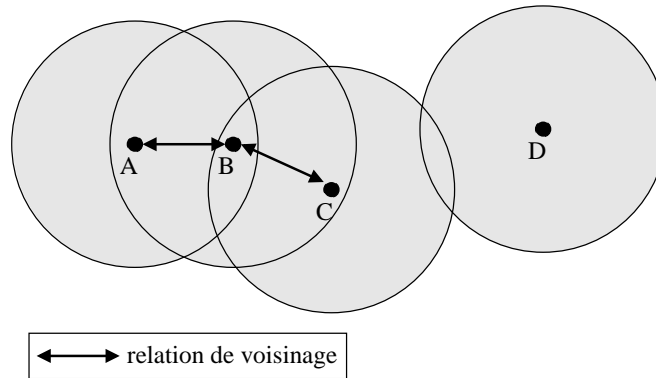
FIG. 4 – *Modélisation d'un terminal mobile communicant*

Il résulte de ce qui précède que la relation de voisinage entre deux terminaux mobiles est une relation *symétrique*. En effet, lorsqu'un terminal A est voisin d'un autre terminal B, B est aussi un voisin de A. Cela signifie en particulier qu'une communication peut être envisagée dans les deux sens, c'est-à-dire de A vers B *et* de B vers A. Cette relation n'est, en outre, pas transitive : un terminal B peut être voisin à la fois de A et C sans que A et C ne soient eux-mêmes voisins. La propriété de transitivité ne peut être apportée que par l'algorithme de routage dynamique des réseaux ad hoc. La figure 5 illustre cette relation à l'aide de quatre terminaux A, B, C et D. Ce dernier n'a pas de voisin et n'est donc voisin de personne.

### 2.2.2 Implantation système du service

Dans un objectif de cohérence du point de vue de la couche applicative, la représentation du voisinage physique d'un terminal doit être commune à toutes les applications qu'il accueille. Par conséquent, l'implantation de ce mécanisme trouve naturellement sa place au sein d'un service du système d'exploitation.



FIG. 5 – *Relations de voisinage*

Dans les implantations de Spread et Persend, le service est disponible auprès des applications selon le schéma client/serveur classique (primitives `open` et `close`). Le contenu du voisinage est disponible au sein d'une liste, accessible en lecture seule (`read`) par les clients. L'insertion et la suppression d'un voisin entraînent l'envoi d'un message aux applications clientes, leur notifiant les changements survenus (messages `new` et `delete`).

La détection de ces événements est réalisée de manière active grâce à la diffusion régulière de messages de présence contenant l'adresse du terminal émetteur, par les terminaux. Lorsqu'un terminal reçoit un tel message, il en déduit que l'émetteur du message et lui-même sont voisins et insère alors une entrée dans sa table de voisinage contenant l'adresse de l'émetteur ainsi que la date de réception du message. La relation de voisinage entre les terminaux persiste tant que les messages de présence sont reçus. Lorsque le terminal ne les reçoit plus pendant une durée fixée par le système, il considère que la relation de voisinage a expiré.

### 2.2.3 Limites de l'approche

Cette approche présente l'avantage de la simplicité de mise en œuvre. Les paramètres tels que la fréquence d'émission des messages de présence ou le délai de garde de l'expiration du voisinage sont ainsi communs à tous les terminaux. Ils sont fixés de manière empirique en fonction du type d'application envisagée et de la réactivité attendue du système. De plus, l'aspect symétrique des communi-

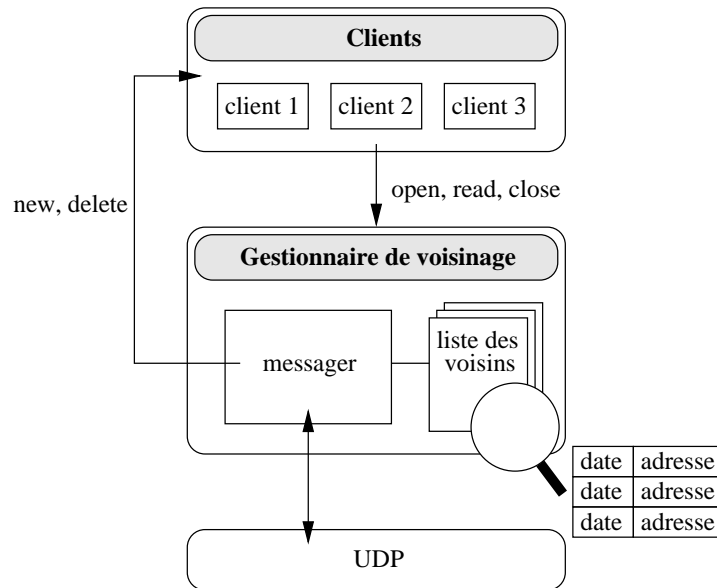


FIG. 6 – Implantation système

cations permet d'envisager facilement le recours à des protocoles réseaux fiables, tels que TCP et tous les protocoles de plus haut niveau qui en dépendent. Au final, l'approche convient pleinement aux applications mettant en œuvre des terminaux identiques tant du point de vue de la portée de communication que du point de vue de la mobilité.

Les échanges sans fil sont généralement considérés entre des entités de mobilité équivalente. On suppose, par exemple, des réseaux ad hoc composés exclusivement de véhicules ou encore exclusivement de piétons. De plus, les entités émettent toutes à une portée comparable. Il est toutefois intéressant d'envisager des réseaux sans fil mixtes, c'est-à-dire composés de nœuds dont le profil de mobilité et dont la portée d'émission diffèrent. Par exemple, ce peuvent être des piétons et des véhicules. Les uns se déplacent lentement et émettent à une portée réduite pour économiser leur batterie car la consommation énergétique croît avec la puissance. Les autres, se déplacent rapidement et émettent à pleine puissance, n'ayant pas de contrainte énergétique aussi forte que les premiers.

Prenons à titre d'exemple le cas d'un autostoppeur publiant sa destination grâce à un système de communication sans fil. Il se déplace environ à  $1 \text{ m s}^{-1}$  tandis qu'une automobile susceptible de le prendre roule, elle, à  $30 \text{ m s}^{-1}$  sur une route nationale. Comment, dès lors, avec l'approche classique, fixer la fréquence d'émission des messages ? Le piéton doit se signaler afin que la voiture ne rate pas ses messages. Compte tenu de la faible portée de communication du piéton et de la grande vitesse de la voiture, il est nécessaire que le piéton émette des messages à une très forte cadence pour que la voiture ait une chance de le repérer. De plus, s'il veut communiquer longtemps, il doit économiser ses émissions et n'envoyer des messages que lorsque qu'une voiture approche. La voiture, quant-à-elle, peut émettre plus lentement car elle dispose d'une portée plus vaste et que le piéton se déplace lentement. L'important est que la voiture reçoive un message dès qu'elle passe à portée de l'autostoppeur. L'autostoppeur et l'automobile ne peuvent plus avoir la même fréquence d'émission. De surcroît, cette fréquence doit varier au cours du temps.

En conclusion, l'approche classique qui présente l'avantage de la simplicité, ne convient absolument pas à des réseaux sans fil hétérogènes, dans le sens où ils sont composés d'entités différentes du point de vue de la communication et de la mobilité. Non seulement, la fréquence d'émission des messages doit différer selon le type de mobilité des entités, mais elle doit, de plus, s'adapter dynamiquement en fonction des entités voisines. Enfin, la portée de communication de chaque terminal doit lui être propre.

### 3 Proposition

Nous détaillons à présent notre proposition visant à permettre l'établissement d'une représentation informatique du voisinage physique de chaque terminal et ce, bien que chacun ait une portée de communication et une mobilité propres. Dans un premier temps, nous précisons les nouvelles hypothèses qui la sous-tendent, ainsi que leurs conséquences immédiates. Nous donnons ensuite deux définitions supplémentaires permettant de lever les ambiguïtés de la notion de voisinage induites par les nouvelles hypothèses.

### 3.1 Objectif, hypothèses et conséquences

Notre approche considère des terminaux dont la portée de communication est propre à chacun d'eux. Nous souhaitons, de plus, aussi prendre en compte des terminaux de mobilité différente. Il est donc nécessaire d'examiner quelles sont les conséquences de ces hypothèses sur la relation de voisinage.

La première conséquence est la perte de la propriété de symétrie dans la relation de voisinage. En effet, la réception d'un message de présence d'un nœud B par un nœud A ne signifie plus que A peut atteindre B. Elle signifie seulement que A est à portée de B, comme cela est illustré sur la figure 7.

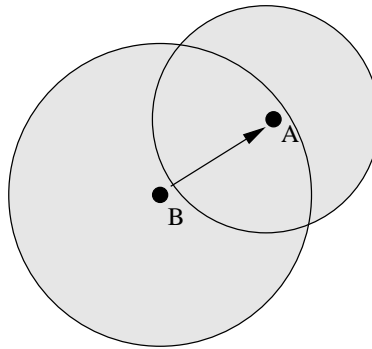


FIG. 7 – Exemple de relation de voisinage asymétrique

Il est par ailleurs intéressant de remarquer que la portée de communication d'un terminal *n'a strictement aucune incidence* sur l'ensemble des terminaux qu'il détecte comme étant ses voisins. Comme le montre la figure 7, B ne détecterait pas A quand bien même B doublerait sa portée de communication. Si cela lui permet effectivement d'atteindre un plus grand nombre de terminaux, ce nombre lui reste partiellement inconnu puisqu'il dépend aussi des messages émis par les nœuds atteints. Ainsi, l'approche de détection par émission de messages de présence ne permet plus que de connaître les nœuds dont un terminal est à portée.

Comme nous l'avons remarqué dans la section précédente avec l'exemple de l'autostoppeur, l'hypothèse de mobilité différente impose que la fréquence des messages d'annonce varie dans le temps. Notre approche doit donc ne faire aucune hypothèse sur la valeur de cette fréquence. Le mécanisme de délai de garde permettant de détecter l'expiration de voisinage n'est alors plus valable comme cela était le cas

dans l'approche classique. La détection des ruptures de voisinage doit maintenant dépendre des fréquences d'annonce de chaque voisin afin d'éviter qu'un voisin se signalant trop peu souvent par rapport aux autres ne soit supprimé par erreur de la liste.

## 3.2 Nouvelles relations de voisinage

### 3.2.1 Définition des relations de voisinage

La dissymétrie de la relation de voisinage entraîne un flou dans la notion même de voisin. Comme nous l'avons remarqué auparavant, si deux terminaux peuvent toujours être considérés comme voisins, au sens de l'approche traditionnelle, il est également possible qu'un terminal reçoive des données d'un autre sans pour autant pouvoir lui répondre. Il est nécessaire de distinguer ces deux notions de voisinages pour pouvoir les détecter et s'y adapter par la suite. Nous donnons deux caractérisations de ces types de voisinages.

**Voisin unilatéral** Soient A et B deux terminaux. B est dit *voisin unilatéral* de A si et seulement si A est à portée de B (figure 7).

**Voisins réciproques** Deux terminaux A et B sont dits *voisins* ou encore *voisins réciproques* lorsqu'ils sont mutuellement voisins unilatéraux. Ils sont voisins au sens habituel.

**Voisin unilatéral strict** A est voisin unilatéral *strict* de B lorsque A est voisin unilatéral de B sans en être un voisin réciproque.

### 3.2.2 Mécanismes des relations de voisinage

**Détection et amélioration d'une relation de voisinage** Nous avons vu que l'envoi d'un simple message de présence ne permet pas à un terminal d'opérer la distinction entre ses voisins unilatéraux et ses voisins réciproques. En fait, un terminal ne peut pas savoir *a priori* de quels nœuds il est voisin unilatéral strict puisque, par définition, ces derniers ne peuvent lui transmettre d'information. Il peut cependant détecter ses voisins réciproques. Pour cela, deux messages suffisent pour

qu'un terminal A détecte un voisin réciproque B : un premier message de recherche est diffusé par A puis un acquittement est renvoyé par B. À ce stade, B a simplement identifié A comme un voisin unilatéral puisque A n'a pas signalé à B qu'il le recevait. Il suffit alors que A émette à nouveau un acquittement pour avertir B qu'il le reçoit. Cet échange est illustré sur la figure 8.

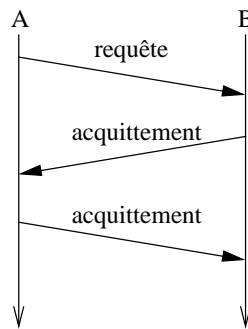


FIG. 8 – *Discrimination simple des voisins*

Les relations de voisinages sont amenées à évoluer en même temps que les terminaux se déplacent. Du point de vue d'un nœud en particulier, ces modifications du voisinage se manifestent comme l'apparition d'un nouveau voisin, les changements éventuels du type de voisinage (unilatéral ou réciproque) ou, la disparition du voisin. Pour constater ces évolutions, il est nécessaire de réitérer régulièrement la procédure de découverte.

Un terminal A et son voisin unilatéral strict B peuvent se déplacer, volontairement ou non, de manière à ce que leur relation de voisinage s'améliore. A peut ainsi devenir voisin unilatéral de B, instituant ainsi une relation de voisinage réciproque. Ce phénomène peut être détecté simplement grâce à la méthode de découverte. En effet, lorsque B va se trouver à portée de A, il va recevoir son message de découverte. L'adresse de A sera alors insérée dans le prochain message de présence de B. Comme B est un voisin unilatéral de A, A remarquera que son adresse figure dans le message de présence et pourra en déduire qu'il est devenu voisin réciproque de B.

**Dégradation et expiration d'une relation de voisinage** Deux terminaux peuvent, contrairement à la situation précédente, se déplacer de telle façon que leur relation

de voisinage se dégrade. Ainsi, une relation réciproque peut dégénérer en relation unilatérale stricte. Dans cette situation, les deux terminaux ne peuvent plus communiquer que dans un seul sens et l'un des terminaux ne reçoit plus les messages de présence de l'autre. Il devra alors retirer l'adresse correspondante de son message de présence. L'autre terminal s'apercevra alors que son adresse a disparu et que la relation de voisinage s'est dégradée.

Ce processus de détection du voisinage fonctionne à ceci près qu'il faut spécifier à partir de quand un terminal considère qu'un de ses voisins a disparu. Cette difficulté est traditionnellement levée par l'emploi d'un délai de garde au-delà duquel le résultat de l'opération en cours est décidé (en général, par un échec). Il s'agit ensuite de fixer ce délai de garde en fonction des contraintes imposées. Comme nous l'avons rappelé précédemment, cette technique ne saurait s'appliquer ici puisque chaque terminal reste libre d'adapter sa fréquence d'émission. De plus, l'emploi d'un délai de garde aboutit à un paramétrage redondant de la relation de voisinage, puisqu'elle repose déjà sur la fréquence d'émission des messages de présence. Il est, par conséquent, préférable que le fonctionnement du processus de sortie ne repose que sur les paramètres du processus d'entrée des voisins. De manière plus concrète, il est plus judicieux de considérer qu'un terminal est sorti du voisinage parce qu'on a raté un certain nombre de ces signaux de présence, plutôt que de considérer qu'il est sorti car on ne le reçoit plus depuis un certain temps. Ce nombre de messages ratés a, de plus, l'avantage de pouvoir être fixé de manière empirique *quels que soient* les protagonistes et les applications mises en œuvre dans les relations de voisinages. Cet intervalle doit être indiqué par chaque terminal au sein des messages de présence.

### 3.2.3 Protocole de découverte

La méthode précédente est suffisante si un faible nombre de terminaux est en jeu. Lorsque la population augmente, le nombre de messages à échanger va lui aussi augmenter, mais de manière beaucoup importante. S'il faut trois messages à deux nœuds pour s'apercevoir de la réciprocité de leur voisinage, il en faudra neuf pour trois, car chaque terminal diffusera une requête de présence ainsi que les acquittements nécessaires. Plus généralement, le nombre de messages ainsi échangés entre  $n$  voisins réciproques est de  $n + 2 \cdot C_n^2$  ou  $C_n^2$  vaut  $n!/2(n-2)!$  et désigne le nombre

de combinaisons de deux éléments parmi  $n$ . Après simplification, on s'aperçoit que le nombre de messages échangés est de  $n^2$ .

Pour éviter cette explosion du nombre de messages à échanger, il est possible de les regrouper dans un seul et même message. Plutôt que d'envisager, comme c'était le cas plus avant, des acquittements en point-à-point, il est plus judicieux de profiter de la diffusion des messages de présence. Ces derniers sont en effet reçus par tous les nœuds dont l'émetteur est voisin unilatéral. Il suffit aux terminaux d'inclure dans ces messages la liste des adresses des nœuds dont ils reçoivent eux-mêmes le signal de présence. Le nombre de messages ainsi échangés chute alors à  $2n - 1$ , comme illustré sur la figure 9. Le résumé suivant montre ce phénomène dans le cas de quatre voisins réciproques :

1. le terminal A envoie ( )
2. le terminal B envoie ( A )
3. le terminal C envoie ( A B )
4. le terminal D envoie ( A B C )
5. le terminal A envoie ( B C D )
6. le terminal B envoie ( A C D )
7. le terminal C envoie ( A B D )

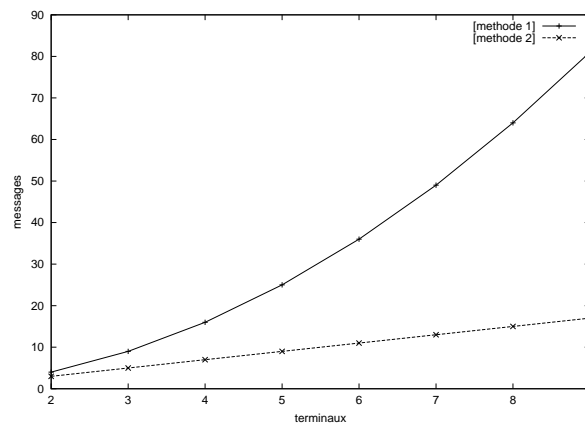


FIG. 9 – Volume de messages



Il est toutefois nécessaire de constater que si le nombre de messages émis diminue considérablement, leur taille augmente proportionnellement au nombre de voisins puisque leur liste est incluse dans le message. Ramenées au volume de données échangées, les deux méthodes donnent des résultats similaires en terme de complexité ( $\mathcal{O}(n^2)$ ). La seconde méthode l’emporte cependant parce qu’elle engendre une moindre émission de paquets réseaux. La consommation d’énergie, notamment avec IEEE 802.11b, augmente à la fois avec le nombre de paquets émis et avec le nombre de paquets reçus. Par ailleurs, l’émission d’un paquet entraîne un surcoût dû à la technologie de communication et aux protocoles réseaux utilisés.

Pour s’en convaincre, examinons le volume de données nécessaires à chacune des deux méthodes avec une technologie IEEE 802.11b. Une trame peut contenir jusqu’à 2346 octets, dont 34 octets sont réservés par l’entête MAC. À cela se rajoutent 20 octets dûs à l’utilisation du protocole IPv4 et encore 8 utilisés par UDP. Au total, 62 octets sont réservés sur une trame. La première méthode ne nécessite pas d’octet supplémentaire. Une émission en diffusion vaut pour une requête et une émission en point-à-point vaut pour un acquittement. La consommation de cette méthode est donc de  $62n^2$  octets, où  $n$  est le nombre de terminaux. La seconde méthode émet des messages de taille variable, selon le nombre de voisins découverts. Avec au plus 572 nœuds, un message tient sur une seule trame. Les  $n - 1$  messages de taille croissante puis  $n$  messages de taille fixe sont envoyés. La consommation est donc de :

$$\underbrace{62 + 66 + \dots + (62 + 4(n - 2))}_{n-1} + n(62 + 4(n - 1))$$

$$\text{soit } 62(n - 1) + 2(n - 1)(n - 2) + n(62 + 4(n - 1))$$

$$\text{i.e. } 6n^2 + 114n - 58$$

La figure 10 montre l’évolution de la consommation des deux méthodes en fonction du nombre de nœuds. Les deux courbes évoluent effectivement selon une parabole, mais la seconde croît moins vite que la première.

Il convient enfin de constater que la seconde méthode s’avère cependant moins réactive que la première car elle est subordonnée au rythme d’émission des messages de présence. Cela n’est pourtant aucunement pénalisant dans la mesure où un terminal émet des messages de présence *uniquement afin d’être détecté* par les autres. S’il tarde à envoyer son message, cela implique simplement qu’il sera pris en compte plus tard par ses voisins et ne nuira directement qu’à lui-même. C’est à chaque terminal que revient la responsabilité d’être détecté ou non.

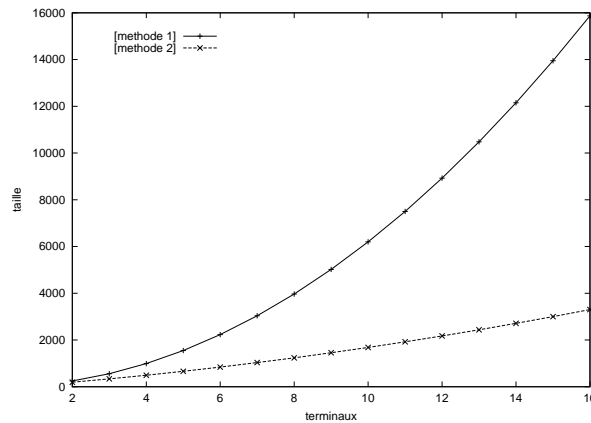


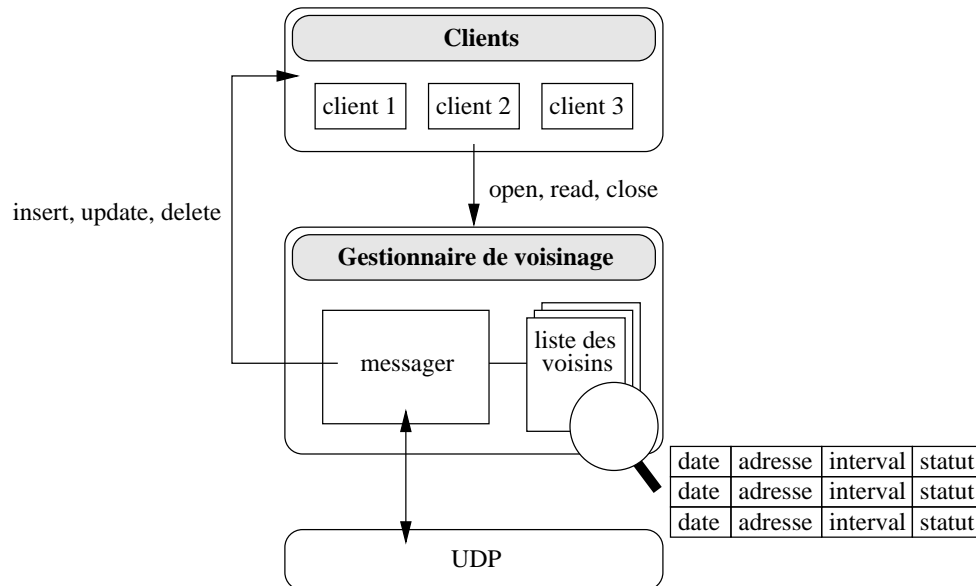
FIG. 10 – Volume de données

### 3.3 Implantation système

Tout comme c'est le cas pour l'approche classique, notre approche doit être implantée au niveau du système d'exploitation afin d'être proposée à toutes les applications. Le service est aussi accessible selon un mécanisme de type client/serveur. Une bibliothèque générique permet son utilisation indépendamment de la technique sous-jacente utilisée qui peut être par socket, mémoire partagée ou base de données légère (telles que les *microsoft property databases* disponibles sous Windows CE).

**Côté serveur** Le serveur maintient la liste des nœuds dont le terminal est à portée de communication à partir des messages de présence reçus. Il émet par ailleurs les messages de présence à destination des autres terminaux à une fréquence spécifiée par l'utilisateur. Comme illustré sur la figure 11, chaque entrée de la liste est composée de quatre champs que sont l'*adresse* du nœud considéré, la *date* de la dernière réception d'un message de présence de sa part, l'*intervalle* d'émission des messages et enfin son *statut* (voisin unilatéral ou réciproque). Toute insertion, suppression ou modification de la table entraîne l'émission du message correspondant (*insert*, *delete*, *update*) aux clients.

**Côté client** Les primitives *open* et *close* permettent aux clients de se connecter et de se déconnecter du serveur qui détient la représentation du voisinage. Les

FIG. 11 – *Nouvelle implantation système*

clients peuvent de plus accéder aux enregistrements de la table grâce à la primitive `read` et à l'adresse du nœud recherché.

## 4 Conclusion et perspectives

Nous avons considéré dans cette étude, des terminaux informatiques mobiles dotés d'une interface de communication sans fil. Après avoir dressé la liste des principaux types de réseaux sans fil dans lesquels ces terminaux évoluent, nous nous sommes focalisés sur le voisinage de ces terminaux, c'est-à-dire l'ensemble des terminaux à portée de communication. Après avoir constaté que ce voisinage évolue dans le temps en fonction des mouvements de chaque nœud, nous nous sommes intéressés à la manière dont le système d'exploitation peut représenter l'ensemble des voisins d'un terminal donné.

La détection des voisins est traditionnellement réalisée par le biais de messages de présence, émis de façon régulière. Les terminaux sont supposés identiques du point de vue de la portée de communication. Il en résulte tout d'abord une relation

de voisinage symétrique : lorsqu'un terminal détecte un nouveau voisin, il peut en déduire qu'il est lui aussi un voisin de ce dernier. Les terminaux ont, en outre, une mobilité comparable. C'est à partir de cette dernière que sont établis la fréquence d'émission des messages et le délai à partir duquel on suppose qu'un terminal est sorti du voisinage.

Ce mécanisme de découverte est très répandu dans le domaine des communications sans fil. Il se justifie par le fait que les technologies de communication sans fil actuellement disponibles, telles que Bluetooth ou 802.11b, ne permettent pas encore d'utiliser des portées différentes. Les études considèrent, d'autre part, des réseaux entre entités de mobilité comparable. Nous avons cependant constaté qu'elles sont mal adaptées à des problèmes simples tels que celui de la communication entre un autostoppeur et une automobile. Dès lors, nous avons proposé de nouvelles hypothèses pour permettre de traiter correctement ce paradigme.

Notre approche considère des terminaux de mobilité et de portée de communication différentes. Après avoir remarqué les ambiguïtés induites dans la relation de voisinage, nous avons proposé une nouvelle définition et avons abouti à une nouvelle représentation du voisinage : le voisinage *réciproque*, ou classique, et le voisinage *unilatéral strict*, pour lequel la relation de voisinage n'existe que dans un sens.

Un mécanisme de détection du voisinage a été présenté. Il repose sur l'émission de messages de présence dans lesquels la liste des voisins unilatéraux est publiée, permettant ainsi de distinguer les différents types de voisinages. La mobilité des terminaux étant par ailleurs non contrainte, il n'est plus possible de détecter la fin d'une relation de voisinage par le dépassement d'un délai de garde. Ce problème peut être contourné si chaque terminal inscrit, dans son message de présence, la fréquence à laquelle il émet. Il devient alors possible de compter le nombre de messages ratés et de décider qu'un terminal a disparu du voisinage au-delà d'un seuil choisi.

L'exemple de l'autostoppeur nous a aussi permis de montrer qu'il existe un lien entre mobilité, portée de communication et fréquence d'émission des messages. En effet, il est nécessaire que chaque terminal adapte sa fréquence d'émission en fonction, non seulement, de sa mobilité mais aussi de celle de ses voisins unilatéraux s'il désire se signaler à eux. Cette relation constitue la prochaine étape de notre travail. Elle est actuellement en cours d'étude.

## Références

- [1] M. Banâtre and F. Weis. Système d'Information Spontané (SIS) : Problématique et Premiers Eléments de Solutions. Technical Report 1222, IRISA, December 1998.
- [2] Stefano Basagni, Imrich Chlamtac, R. Violet Syrotiuk, and Barry A. Woodward. A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility. In *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pages 49–64, Dallas, TX, USA, October 1998.
- [3] P. Couderc and M. Banâtre. Ambient computing applications: an experience with the SPREAD approach. In *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03)*, pages 291–299, January 2003.
- [4] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai. IEEE 802.11 Wireless Local Area Network. *IEEE Communications Magazine*, 35(9):116–126, September 1997.
- [5] Laura Marie Feeney. A Taxonomy for Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks. Technical Report T99/07, Swedish Institute of Computer Science, Sweden, October 1999.
- [6] David Gelernter. Generative communication in linda. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, 7(1):80–112, January 1985.
- [7] J. Haartsen, M. Naghshineh, J. Inouye, O. Joeressen, and W. Allen. Bluetooth: Vision, Goals, and Architecture. *Mobile Computing and Communications Review*, 2(4):38–45, October 1998.
- [8] R. Kalden, I. Meirick, and M. Meyer. Wireless Internet Access Based on GPRS. *IEEE Personal Communications*, 7(2):8–18, April 2000.
- [9] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pages 49–64, Dallas, TX, USA, October 1998.
- [10] M. Rahnema. Overview Of The GSM System and Protocol Architecture. *IEEE Communications Magazine*, 31(4):92–100, April 1993.
- [11] William Wei-Lien Su. *Motion Prediction in Mobile/Wireless Networks*. PhD thesis, University of California, Los Angeles, CA, USA, 1999.

- [12] R. Want, A. Hopper, V. Falcão, and J. Gibbons. The Active Badge Location System. *ACM Transactions on Information Systems*, 10:91–102, January 1992.
- [13] R. Want, B. N. Schilit, N. I. Adams, R. Gold, K. Petersen, D. Goldberg, J. R. Ellis, and M. Weiser. An Overview of the ParcTab Ubiquitous Computing Experiment. *IEEE Personal Communications*, 2(6):28–33, December 1995.
- [14] M. Weiser. Some Computer Issues in Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM*, 36(7):74–84, July 1993.



---

Unité de recherche INRIA Lorraine, Technopôle de Nancy-Brabois, Campus scientifique,  
615 rue du Jardin Botanique, BP 101, 54600 VILLERS LÈS NANCY  
Unité de recherche INRIA Rennes, Irisa, Campus universitaire de Beaulieu, 35042 RENNES Cedex  
Unité de recherche INRIA Rhône-Alpes, 655, avenue de l'Europe, 38330 MONTBONNOT ST MARTIN  
Unité de recherche INRIA Rocquencourt, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex  
Unité de recherche INRIA Sophia-Antipolis, 2004 route des Lucioles, BP 93, 06902 SOPHIA-ANTIPOLIS Cedex

---

Éditeur  
INRIA, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex (France)  
<http://www.inria.fr>  
ISSN 0249-6399